



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШЭ

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ООП/ОПОП Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<i>Импульсный регулятор напряжения бортового генератора</i>

УДК 621.316.722:629.7.064.53

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A98	Мурашко Юлия Викторовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Воронина Наталья Алексеевна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютёва Полина Васильевна	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, <i>объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях –потенциальных работодателях
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности

Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
---------	--



Школа ИШЭ

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

_____ Тютева П.В.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5A98	Мурашко Юлия Викторовна

Тема работы:

<i>Импульсный регулятор напряжения бортового генератора</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>27.01.2023 №27-88/с</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования – импульсный регулятор напряжения</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор 2. Исследование импульсного регулятора напряжения бортового генератора 3. Расчет и выбор элементов схемы 4. Создание и исследование имитационной модели 5. Разработка раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». 6. Разработка раздела «социальная ответственность». 7. Заключение

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема регулятора напряжения, статические характеристики транзисторов, осциллограммы тока и напряжений регулятора
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Воронина Наталья Алексеевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А98	Мурашко Юлия Викторовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5A98	Мурашко Юлия Викторовна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы – 0,12; - накладные расходы – 16%.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Проведение SWOT-анализа.</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A98	Мурашко Юлия Викторовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 5A98		ФИО Мурашко Юлия Викторовна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Тема ВКР:

Импульсный регулятор напряжения бортового генератора

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение	<p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования <u>Импульсный регулятор напряжения</u></i></p> <p><i>Область применения <u>Бортовой генератор</u></i></p> <p><i>Рабочая зона: <u>лаборатория</u></i></p> <p><i>Размеры помещения <u>57 м²</u></i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны <u>бортовой генератор-1 шт, диоды-8 шт, трансформатор-1 шт, нагрузочные резисторы-6 шт, транзисторы-4 шт, конденсатор-1 шт, стабилизатор-1 шт</u></i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне <u>сборка, исследование регулятора напряжения</u></i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:		
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:	<p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p><i>ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</i></p> <p><i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i></p> <p><i>ГОСТ 12.2.049-80. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</i></p>
2. Производственная безопасность при эксплуатации:	<p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Вредные производственные факторы:</p> <p>– недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>– неудовлетворительный микроклимат</p> <p>Опасные производственные факторы:</p> <p>– поражение электрическим током</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <p>– вентиляция, кондиционирование</p> <p>– углекислотные огнетушители</p> <p>– диэлектрические перчатки, изолирующие коврики и подставки</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации		<p><i>Воздействие на литосферу <u>отравление почвы отходами оборудования</u></i></p> <p><i>Воздействие на гидросферу <u>выбросы отходов в водоемы</u></i></p> <p><i>Воздействие на атмосферу <u>выброс вредных веществ в атмосферу</u></i></p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС <u>пожар, авария при повреждении оборудования</u> Наиболее типичная ЧС <u>пожар</u>
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А98	Мурашко Юлия Викторовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 94 страницы, 11 рисунков, 20 таблиц, 48 источников.

Ключевые слова: авиационный генератор, система электроснабжения летательного аппарата, импульсный регулятор напряжения, моделирование .схемы регулятора напряжения, исследование схемы регулятора напряжения.

Объектом исследования в выпускной квалификационной работе является импульсный регулятор напряжения.

Цель работы – исследование схемы импульсного регулятора напряжения бортового генератора. Для этого производится расчет и выбор элементов схемы, а также создание и исследование имитационной модели.

При выполнении выпускной квалификационной работы проведены расчет и выбор элементов схемы, а также создание имитационной модели в программной среде *LTSpice* и ее исследование.

В итоге было проведено исследование импульсного регулятора напряжения бортового генератора, а также проведен расчет стоимости проекта и эффективности, определены безопасность окружающей среды и людей на рабочем месте.

Оглавление

Введение.....	11
1. Литературный обзор	13
1.1. Система генерирования.....	13
1.2. Дестабилизирующие факторы	18
1.2.1. Климатические факторы	18
1.2.2. Механические воздействия.....	20
1.2.3. Электромагнитные нагрузки.....	21
1.2.4. Ионизирующее излучение	22
1.2.5. Химические факторы.....	23
1.2.6. Защита от дестабилизирующих факторов.....	23
1.3. Структура и классификация систем электроснабжения	25
1.4. Параметры СЭС переменного тока	27
1.5. Марка генератора	28
1.6. Виды отказов элементов системы электроснабжения и аппаратов защиты.....	30
1.7. Альтернативные источники энергии	31
1.7.1. Солнечные источники энергии	31
1.7.2. Химические источники энергии	33
1.8. Перспективы развития систем электроснабжения в авиации	36
1.9. Регуляторы напряжения	37
1.9.1. Импульсный регулятор напряжения	37
1.9.2. Принцип работы схемы	38
1.10. Квантование по времени	40
2. Расчет импульсного регулятора напряжения.....	41
2.1. Расчет и выбор элементов силового ключа.....	41
2.1.1. Расчет и выбор транзисторов VT1 и VT2 и резисторов R_1 , R_2 и R_3	42
2.1.2. Расчет диода VD2	44
2.2. Расчет и выбор элементов импульсного усилителя	45
2.3. Расчет и выбор элементов схемы сравнения.....	46
2.4. Расчет и выбор элементов измерительного органа напряжения	48

2.5. Расчет измерительного трансформатора	49
2.6. Расчет трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя	54
2.7. Расчет потерь на диоде	57
3. Моделирование импульсного регулятора напряжения.....	57
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
4.1. SWOT-анализ импульсного регулятора напряжения бортового генератора	61
4.2. Разработка графика проведения работ	63
4.3. Составление сметы проекта.....	68
4.3.1. Расчет материальных затрат	68
4.3.2. Полная заработная плата исполнителей	70
4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды	71
4.3.4. Накладные расходы	71
4.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	71
4.5. Определение ресурсоэффективности проекта	72
4.6. Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	74
5. Социальная ответственность	76
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	77
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	79
5.2. Производственная безопасность	79
5.2.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов	80
5.2.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	85
5.3. Экологическая безопасность.....	86
5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ..	86
5.3.2. Мероприятия по защите окружающей среды	87
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
5.5. Выводы по разделу	87
Заключение	89

Список используемых источников.....	90
-------------------------------------	----

Введение

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и моделирование импульсного регулятора напряжения бортового генератора. В наши дни летательный аппарат является техническим устройством, который выполняет разнообразные функции – от перевоза грузов и пассажиров до применений в военной промышленности [1].

При классификации агрегатов учитываются:

- принцип создания подъемной силы (аэростатические, аэродинамические, газодинамические);
- степень повторности применения (однократное, многократное);
- назначение (научно-исследовательское, спортивное и т.д.);
- конструктивные признаки (количество крыльев самолета и их местонахождение, тип двигателя и т.д.);
- область применения (военная авиация, гражданская);
- число ступеней (одноступенчатые, многоступенчатые, составные);
- класс (определяется по взлетной массе);
- наличие пассажиров на борту (пилотируемые, беспилотные).

Во время работы оборудования летательного аппарата происходит потребление электроэнергии. При помощи данного вида энергии довольно легко автоматизировать процессы управления, регулирования и контроля на летательном аппарате, а также происходит изменение других параметров.

Бортовое оборудование – один из источников потребления энергии. В силу его распространенности установленная мощность электростанций является довольно большой. Следовательно, электрооборудование является неотъемлемой частью летательных аппаратов.

Система электрооборудования летательного аппарата состоит из системы электроснабжения и потребителей электрической энергии.

Задача системы электроснабжения – выработка электроэнергии, обеспечение ее передачи и распределения потребителям. Число каналов СЭС зависит от числа источников (преобразователей), которые могут работать параллельно, с электрической связью силовых цепей и без этой связи. СЭС включает в себя систему генерирования и систему передачи и распределения электроэнергии.

1. Литературный обзор

1.1. Система генерирования

Совокупность устройств для выработки и преобразования электроэнергии. Система генерирования включает в себя [1]:

- источники электрической энергии;
- преобразователи электрической энергии;
- устройства управления, регулирования и защиты источников электроэнергии;
- устройства для обеспечения параллельной работы источников;
- аппараты встроенного контроля и диагностики.

Источники электроэнергии – это устройства, которые вырабатывают энергию из других видов (из механической, тепловой и т.д.).

При помощи преобразователей возможно получить электрическую энергию других параметров. Наиболее частая реализация данных устройств – преобразование механической энергии в электрическую. Электроэнергию можно получить с достаточно большими диапазонами мощностей и напряжений. Поэтому часто применяются электромеханические генераторы в качестве бортовых источников энергии на различных летательных аппаратах. Данный вид генераторов применяется наиболее часто в беспилотных летательных аппаратах.

Мощность и число генераторов, необходимых для нормального функционирования летательного аппарата, главным образом определяется количеством потребляемой энергии и степенью одновременного включения бортового генератора. Устройство самого генератора зависит от назначения летательного аппарата.

Авиационные генераторы бывают следующих типов:

- магистральные – обеспечивают электроэнергией все бортовые системы, функционируют в течение всего времени полета;

- резервные – подключаются к бортовой сети в случае неисправных магистральных генераторов;
- аварийные – используются для обеспечения электроэнергией определенного количества потребителей при неисправных основных генераторах;
- специального назначения – питают энергоемкое оборудование специального назначения.

Электромеханические источники энергии бывают постоянного и переменного тока.

Способ охлаждения зависит от области применения летательного аппарата. Существуют следующие виды охлаждающих систем [1]:

- воздушное охлаждение (большой напор воздуха);
- основанная на циркуляции жидкости (непосредственное охлаждение);
- испарительного охлаждения;
- комбинированного охлаждения.

В летательных аппаратах требуется плавное изменение напряжения и высокий уровень стабилизации, поэтому применяются устройства с обмотками возбуждения. Обмотка возбуждения создает магнитный поток, вследствие наводится ЭДС на обмотке генератора, далее напряжение выпрямляется вентилями. Наиболее распространенное соединение выпрямителей – трехфазная мостовая схема выпрямления, благодаря которой на выходе получается выпрямленный ток лучшей формы, по сравнению с другими схемами выпрямления. Также преимущество данной схемы – небольшая потеря мощности при преобразовании переменного напряжения в постоянное. Однополупериодные схемы с нулевым проводом имеют невысокие энергетические показатели. Но, несмотря на данный недостаток, последняя позволяет снизить нагрузки от токов на вентили, сократить их число использования в схеме, повысить надежность [2].

К авиационным генераторам предъявляются специфические требования, объясняемые условиями эксплуатации, такие как [1]:

- Высокая надежность. Для генераторов рекомендована бесконтактная передача мощности. Многие аварии связаны с наличием контактных частей щетка-коллектор или щетка-кольцо. С увеличением частоты вращения вала надежность работы контактных пар данного вида заметно уменьшается.

- Определение параметров генератора, повышение качества электроэнергии. Данное требование включает в себя:

- a) выбор значений параметров на стадии разработки и проектирования;

- b) устранение последствий скола пазов, укорочения обмотки, профилирования рабочего зазора и другие;

- c) применение аппаратуры для регулирования напряжения.

- Регулируемость. Так как во время работы летательного аппарата напряжение в сети может изменяться в достаточно широких пределах, для его стабилизации необходимо соответствующее оборудование – в данном случае выпрямители.

- Перегрузочная способность. В летательных аппаратах должна обеспечиваться возможность выдерживать кратковременные перегрузки, не превышая при этом допустимую температуру перегрева. Для генераторов переменного тока – полуторакратная перегрузка по току в течение пяти минут при номинальном значении напряжения, двукратная – в течение пяти секунд.

- Качество электрической энергии. Определяется возможностью обеспечения потребителей электроэнергией. При этом учитываются такие параметры, как отклонение напряжения и частоты при воздействии внешних возмущений при установившихся и переходных режимах работы, форма кривой напряжения и его пульсации.

При работе на земле (например, при проверке оборудования) требуется работа генераторов с нагрузкой не менее 30% от номинальной мощности. Если у генераторов предусмотрена функция жидкостного конвективного охлаждения, значение нагрузки увеличивается до 50%.

- Автономное и рациональное использование на борту. Генератор должен быть бесконтактным и вырабатывать напряжение вне зависимости от других источников питания.

Для бесконтактных генераторов необходимо обеспечение надежного самовозбуждения. Для него, в свою очередь, требуется наличие ЭДС остаточной намагниченности обмотки возбуждения. Напряжение генератора возрастает [3].

Системы возбуждения авиационных генераторов бывают следующих типов [4]:

- независимое возбуждение от бортовой сети;
- возбуждение от специального возбудителя, находящегося на одном валу с основным генератором.

Первый тип системы возбуждения имеет некоторые недостатки, а именно:

- необходимость в постоянном источнике питания;
- большие затраты электроэнергии для регулирования мощности на выходе генератора;
- значительные габариты регулятора напряжения.

В это же время система со специальным возбудителем имеет значительные преимущества, а именно, независимость от других источников питания (применяют независимое или параллельное возбуждение). Но при этом массогабаритные показатели, как и у предыдущей системы возбуждения также довольно большие.

В генераторах надежность и срок службы определяются, главным образом, несколькими факторами:

- качеством электрической изоляции;
- надежностью подшипников.

При проектировании бортового генератора для дальнейшей эксплуатации на предприятии важно учитывать следующие технические данные, которые составляют техническое задание [5]:

- назначение и область применения;
- состав оборудования и его взаимодействие между собой. Для генераторов необходимо указать тип регулятора напряжения, марку генератора;
- основные технические данные, такие как номинальная мощность, род тока (переменный или постоянный), номинальное напряжение, частота вращения, число фаз, коэффициент мощности, значения перегрузок и допустимое время их длительности, способ охлаждения;
- сухая масса машины. В данном случае этот термин означает массу агрегата без топлива и какого-либо дополнительного груза;
- габаритные и присоединительные размеры. Необходимо указать габаритные размеры машины (его максимальные длину, ширину и высоту), тип и размеры присоединительного фланца, способ присоединения вала с исполнительным механизмом, а также тип электрических выводов (коробка с зажимами для контактов, электрический соединитель, провода, сплетенные в жгут);
- условия эксплуатации (максимально допустимая высота, температура воздуха, механические нагрузки, режим работы, климатические условия);
- условия хранения (длительность, температуры наибольшая и наименьшая возможные, влажность, способ упаковки);
- ресурс (гарантийный срок, срок эксплуатации до первого ремонта, количество допустимых ремонтов);

- требования надежности (расчет вероятности исправной работы агрегата при конкретной продолжительности цикла нагрузок, а также проверка исправности перед каждым нагрузочным циклом);
- конструктивные требования (обеспечение масштабного и индивидуального производства, удобства обслуживания, пригодность к ремонту, защита от различного рода повреждений, а также обеспечение запасными деталями).

1.2. Дестабилизирующие факторы

1.2.1. Климатические факторы

Во время эксплуатации на электрооборудование авиационной электрической машины влияют неблагоприятные факторы (дестабилизирующие). Они бывают внешние и внутренние. К внутренним факторам обычно относятся [1]:

- ошибки при разработке оборудования;
- отступления от рекомендуемой технологии изготовления;
- ошибочные действия персонала при эксплуатации;
- ошибки при ремонте оборудования.

Внешние факторы зависят от условий окружающей среды и эксплуатации оборудования. Климат оказывает сильное влияние на бортовое оборудование, а именно – атмосферное давление, плотность, температура и влажность воздуха, наличие песка и пыли.

При увеличении высоты полета плотность воздуха и атмосферное давление меняются, а следовательно, меняются условия работы летательного аппарата. А именно, уменьшается диэлектрическая прочность воздуха, теплопередача от поверхности оборудования в окружающую среду. Снижение электроизоляционных свойств приводит к дугообразованию на контактах коммутационной аппаратуры, которая в конечном итоге может привести к возгоранию оборудования.

Уменьшение плотности воздуха приводит к теплоотдаче элементами электрооборудования, что в конечном итоге может привести к потерям мощности.

При изменении температуры меняется электрическое сопротивление проводов, диэлектрической прочности изоляции, емкости аккумуляторов, конденсаторов. Низкие температуры снижают механическую прочность материалов, повышают их хрупкость, приводя к электрическим пробоям вследствие разрушения материалов, а повышенная – оказывает негативное влияние на изоляцию проводов. Если же есть значительные температурные перепады, от положительной к отрицательной и наоборот, изменяются магнитные свойства материалов, линейные размеры регуляторов, и, как следствие, ухудшается качество их работы. К данным перепадам наиболее чувствительна аппаратура, состоящая из полупроводниковых элементов.

Негативное влияние на работу оборудования летательного аппарата также оказывает и влага. При увеличении высоты полета образуется конденсат в составных частях электрической системы, что приводит к пробоям изоляции и ее дальнейшему разрушению, появлению электрических дуг.

Кроме того, песок и пыль являются дестабилизирующими факторами, особенно в регионах с довольно сухим климатом. Вследствие их воздействия происходит более быстрый износ движущейся части оборудования.

1.2.2. Механические воздействия

Вибрация

Данный тип дестабилизирующих факторов влияет на качество работы и прочность оборудования летательного аппарата. Так, например, вибрация, которую создают вращающиеся части двигателя и вихревой воздушный поток при полете. Вследствие этого возникают дополнительные механические напряжения электрической машины, а также на болты и винты корпуса, подшипники, происходит ослабление сварных швов, заклепочных соединений, повышается вероятность обрыва монтажных проводов [1].

Вследствие нагрузки на винтовые соединения, что зачастую приводит к их самоотвинчиванию. Также для элементов с малой жесткостью возникают явления резонанса, приводящие к механическим повреждениям.

Ударные нагрузки

Зачастую возникают при полете в условиях турбулентности. Например, при данном явлении вследствие изменения температуры возникает тепловой удар.

Наиболее значимым дестабилизирующим фактором, по сравнению с вибрациями и ударами, являются ускорения – действующие силы инерции, которые не меняют знак. Появляются, когда меняется скорость полета.

Кроме того, при нахождении в воздухе на электрооборудование действуют нулевые и отрицательные перегрузки. Нулевые также называют невесомостью. Особое влияние данный вид перегрузок зачастую оказывает на элементы, имеющие подвижные узловые детали, а именно – электрические машины, контакты и реле.

На летательных аппаратах сверхзвуковых и с большой мощностью нередко возникают интенсивные шумы. Звуковые волны при определенных условиях приводят к механическим повреждениям.

1.2.3. Электромагнитные нагрузки

Возникновение данного фактора обусловлено внутренними и внешними воздействиями [1].

Внутренние электромагнитные помехи могут быть вызваны следующими факторами:

- коммутации в цепях первичного и вторичного электропитания;
- работа полупроводниковых приборов в режиме ключей (транзисторов, тиристоров);
- работа нелинейных пассивных элементов (релейные, с резким насыщением);
- пробой изоляции, возникновение короны на проводах;

- переменные токи в цепях электропитания с большой силой тока;
- явления разряда и заряда конденсаторов, которые выполняют роль накопителей электроэнергии;
- нарушение устойчивости в энергосистемах;
- термическое повреждение плавких предохранителей.

Электромагнитные помехи бывают периодическими, однократными, редкоповторяющимися. По месту возникновения – кондуктивные (гальванические), электроиндукционные, магнитноиндукционные (полевые), электромагнитно-волновые.

Вероятность возникновения кондуктивных помех зачастую обуславливается ухудшением качества электроэнергии. Передается по цепям питания, управления, коммутации, заземления. Также распространяется по токопроводящим элементам, таким как экраны, кожухи, провода. Приемники импульсных возмущений – электронные устройства, чувствительные к возмущениям и воспринимающие их непосредственно или через линии связи между блоками.

К внешним воздействиям относят:

- естественные и искусственные ионизирующие излучения;
- электромагнитные излучения от энергетических установок;
- поверхностно-электризационные разряды;
- погодные явления, такие как разряды молний.

Последнее воздействие приводит к появлению больших токов, которые вызывают броски токов и напряжений. Данные явления особенно сильно влияют на генераторы, полупроводниковые диоды, системы управления.

Статическое электричество

Данный фактор зачастую возникает при трении об обшивку частиц песка и пыли, которые находятся в воздухе, а также капель воды. Влияет и трение топлива о трубопровод и бак в процессе заправки агрегата. Если

электрическая цепь имеет разрыв, возникают коронные разряды, искрение в месте повреждения. Данные явления зачастую приводят к возгоранию, радиопомехам.

Несмотря на низкую напряженность электрических полей при статических разрядах, кратковременные значения напряжений могут в десятки раз превышать номинальные.

1.2.4. Ионизирующее излучение

Наибольшее влияние радиация оказывает на работу транзисторов и диодов. Происходит изменение параметров данных элементов, повреждение изоляции [1].

Источниками данного вида излучения могут быть внутренние и внешние.

Внутренние связаны зачастую с эксплуатацией ядерных энергетических установок на борту летательного аппарата.

Внешние возникают вследствие воздействия радиации от поясов Земли, солнечное и космическое излучения. В связи с этим при изготовлении электрооборудования применяют материалы, не восприимчивые к данному фактору. Наиболее распространенными являются металлы, магниты, неорганические и органические, а также полупроводниковые и органические материалы. Металлы и магниты применяются чаще, имеют большую стойкость к радиации, а наименьшую, соответственно, полупроводниковые и органические материалы.

1.2.5. Химические факторы

Значительное влияние на работу электрооборудования оказывают примеси, содержащиеся в воздухе. К ним относятся масло, влага, пары топлива и гидравлических жидкостей [1].

Некоторые пары авиационного топлива, скапливающиеся в летательном аппарате, могут привести к возгоранию. При соприкосновении с электрооборудованием происходит его чрезмерный нагрев, искрение.

Все вышеперечисленные дестабилизирующие факторы могут действовать как отдельно, так и совместно, например, механические воздействия при полете и климатические факторы. Как следствие, возникают более тяжелые условия работы оборудования, которые приводят к неисправностям намного чаще, чем действие отдельного фактора.

1.2.6. Защита от дестабилизирующих факторов

Наружная поверхность летательного аппарата вследствие снижения температуры на высоте может покрываться льдом, что приводит к ухудшению управляемости агрегата и тяги двигателя, увеличивается расход топлива. Также при появлении льда на стеклах ухудшается видимость, что также приводит к плохой управляемости [6].

Вследствие возникновения данного дестабилизирующего фактора применяют противообледенительные системы. Так, одним из примеров такого оборудования является интенсивметр-сигнализатор. Данный прибор определяет момент начала и прекращения обледенения в комплекте со стрелочным указателем интенсивности. Включается при температуре воздуха вокруг летательного аппарата ниже 1°C. Датчик обледенения определяет температуру и содержание воды в потоке воздуха. Данное устройство основано на терморезисторах.

Также применяются и пылезащитные устройства. Внутри летательного аппарата установлено устройство с емкостью для сбора пыли, устройство с функцией завихрителя. Имеется трубка для отвода очищенного воздуха и отдельный канал, ведущий в пылесборник [7].

Виброзащитные системы основаны на виброизоляторах, работающий как фильтр низких частот. Выбираются параметры системы виброзащиты, при которых ее частота гораздо ниже вибрации от внешнего воздействия [8].

От ударных воздействий применяется устройство, состоящее из корпуса, который содержит в себе печатные платы, размещенные на амортизирующих прокладках внутри одного корпуса, который заполнен дискретными рабочими средами. Корпус сделан из материала,

восприимчивого к деформации. Снаружи размещен еще один корпус, выполненный из более жесткого материала. Между двумя корпусами размещен полимерный материал, выполняющий роль компаунда, который непосредственно используют для защиты от вибрации. Но при этом основной недостаток устройства – легкая деформация и разрушение материала, из которого выполнен внутренний корпус [9].

Для защиты от электромагнитных излучений используется устройство измерения дозы излучений. Состоит из металлического корпуса, в котором располагаются чувствительные элементы. Данный прибор способен измерять дозы излучений в больших диапазонах [10].

Чтобы удары молнии не попали в летательный аппарат, по погодному радару определяется направление движения с учетом обхода данного погодного явления. Работа импульсного радара основана на эффекте Доплера, что означает изменение длины волны и частоты сигнала при движении наблюдателя относительно источника излучения. В настоящее время возможно получение объемного цветного изображения, по которому видно количество выпадающих осадков [11].

Применение разрядника статического электричества позволяет существенно снизить влияние данного дестабилизирующего фактора. Данное устройство состоит из коронирующих электродов. Они имеют форму иглы, связаны гальванически с корпусом. Увеличение тока разряда и снижение уровня радиопомех позволяет значительно снизить влияние статического электричества [12].

1.3. Структура и классификация систем электроснабжения

Классификацию бортовых систем электроснабжения обычно делят на группы по следующим признакам [1]:

- a) назначение;
- b) род тока;
- c) напряжение;
- d) частота;

- e) отношение к источникам энергии;
- f) состав источников;
- g) число каналов.

По первому признаку выделяют основные системы электроснабжения (питание всех элементов от начала до конца полета), вспомогательные (питание определенного числа элементов вне летательного аппарата, но связанных с ним, либо аварийное электроснабжение летательного аппарата при полете, когда основная система электроснабжения неисправна), специальная (электроснабжение какой-либо одной установки).

По второму признаку приняты СЭС постоянного тока и переменного. Предпочтительнее СЭС переменного тока, так как работа генераторов постоянного тока нередко сопровождается искрением, что может привести к аварии и возгоранию летательного аппарата.

По третьему признаку различают системы электроснабжения низкого и высокого напряжения.

По четвертому признаку выделяют системы постоянной и переменной частоты. Также выделяют несколько групп систем электроснабжения по следующим параметрам:

- постоянного тока низковольтные и высоковольтные;
- переменного трехфазного и однофазного тока переменной частоты;
- переменного трехфазного и однофазного тока постоянной частоты.

По пятому признаку различают первичные системы электроснабжения (преобразование механической или солнечной энергии в электрическую). Также выделяют первичную вспомогательную систему или резервную и первичную аварийную. Последняя состоит из аккумуляторной батареи со специальным оборудованием. Вторичная (или третичная) система электроснабжения преобразует электроэнергию одного рода в другой, например, переменную в постоянную.

Первичные системы электроснабжения обычно используют:

- трехфазного переменного тока постоянной частоты

По шестому признаку приняты выделяют следующие системы электроснабжения:

- простые системы электроснабжения (рассчитаны на только переменный или только постоянный ток);
- смешанные системы электроснабжения (рассчитаны на переменный и постоянный ток. Примерами таких систем могут быть генераторы переменного тока с постоянной частотой).

Перед описанием седьмого признака следует дать определение канала электроснабжения. Данный термин означает автономный источник (преобразователь) в совокупности с собственной аппаратурой и сетью. Соответственно, система электроснабжения может быть одноканальной и многоканальной.

1.4. Параметры СЭС переменного тока

Анализ системы электроснабжения летательного аппарата определяется следующими факторами [1]:

а) число фаз. Бывают однофазная (число фаз $m = 1$) и трехфазная СЭС (число фаз $m = 3$).

- Однофазная имеет следующие преимущества: простота, большое количество потребителей на борту, отсутствие потребности в распределении нагрузки по нескольким фазам. Недостатками же данной системы электроснабжения маленькие технические показатели, в отличие от трехфазной.

- Трехфазная СЭС имеет более высокие технические показатели. Она более экономичная и надежная.

б) номинальное напряжение. Зависит от массы сети, которая уменьшается с повышением напряжения. При этом чем больше мощность

системы электроснабжения и протяженность электросети, тем заметнее масса сети уменьшается.

с) частота переменного тока. Учитывается ее стабильность, а если она неизменна, то номинальное значение. При этом потребители делятся на несколько групп:

- допускающие грубую стабилизацию частоты в пределах (5 – 10) % номинального значения (оборудование, определяющие местоположение – радиолокационное оборудование);

- требующие точную стабилизацию частоты. Допустимо изменение параметра в пределах (1 – 2) %. Потребители, требующие такую точность частоты – автоматические приборы, навигационные. При значительном изменении частоты происходит искажение параметров на выходе. Также недопустим разброс частоты выше указанного для генераторов, которые включены в параллельную работу и находятся в синхронизме.

- работающие при прецизионной точности стабилизации частоты (0,05 – 0,005) %. Применяются также для навигационных приборов, но с элементами, требующими синхронизации вращения, а также с элементами счета времени и расстояния (астронавигация).

1.5. Марка генератора

Авиационный генератор АГ-05Д расшифровывается следующим образом [13]:

- А – автономный;
- Г – генератор;
- 05 – Мощность 0,5 кВт;
- Д – двигательный.

Данное устройство относится к бесконтактным синхронным машинам. Этот прибор включает в себя, помимо обмотки возбуждения,

вращающуюся часть – ротор и неподвижную – статор. Оба элемента установлены внутри корпуса генератора.

На статоре расположены трехфазные обмотки. Материал корпуса для данного вида генераторов чаще всего выбирается алюминий. Для охлаждения генератора применяют топливо.

Работа генератора всегда происходит в комплекте с выпрямителем для преобразования переменного напряжения в постоянное.

Пульсации напряжения, соответствующего выпрямленному току, должно составлять не более $0,35U$, где U – напряжение генератора.

Для устройства допустимы длительно (не более 15 часов) следующие виды неисправностей:

- короткое замыкание контактов друг на друга на выходе одной секции;
- короткое замыкание контактов на корпус на выходе одной секции.

При устранении данного вида аварии возможно отсутствие напряжения.

Помимо короткого замыкания, также возникают и другие неисправности:

1) Отсутствие напряжения во внешней цепи генератора. В данном случае причин может быть несколько, а именно нет вращения вала или в связи с произошедшим обрывом внешней и внутренней цепи генератора. При устранении данных дефектов иногда понадобится замена корпуса.

2) Выходное напряжение генератора ниже допустимого. Данная неисправность возникает при обрыве провода или нерабочем выпрямителе. Устраняются данные проблемы может потребоваться замена корпуса или выпрямителя.

Допустимы следующие климатические воздействия, при которых не нарушается работа генератора:

- изменение температуры воздуха в пределах от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$;

- относительную влажность воздуха до 98%, при условии, что температура воздуха составляет +35°C;
- воздействие конденсата, образующегося на внутренней стороне корпуса генератора;
- значение температуры:
 - a) окружающей среды:
 - рабочая – от +100°C до +250°C;
 - рабочая кратковременная – +350°C;
 - предельная – +200°C.
 - b) в месте установки генератора:
 - рабочая – до +200°C;
 - предельная – до +200°C.
- снижение атмосферного давления.

1.6. Виды отказов элементов системы электроснабжения и аппараты защиты

Вследствие возможного прекращения питания и ухудшения качества электроэнергии при различных повреждениях и отказах системы электроснабжения применяют аппараты защиты. Ее основные задачи заключаются в следующем [1]:

- прекращение работы потребителей в случае ухудшения качества электрической энергии;
- устранение аварий вследствие неисправностей энергетических узлов.

После отключения неисправных элементов ситуация с повреждением может значительно ухудшиться. Поэтому задача системы защиты состоит не только в отключении поврежденного элемента системы электроснабжения, но и для предупреждения дальнейших неисправностей.

К системе защиты, помимо требований, предъявляемым к авиационным генераторам, также необходимыми условиями являются

быстродействие, селективность и необратимость действия, независимость работы оборудования, к которому эта защита применяется, от неисправностей в самом летательном аппарате. Рассмотрим поподробнее данные факторы.

Селективность – способность отключать только поврежденный элемент.

Быстродействие – определяется временем срабатывания, а именно интервал от выявления дефекта до отключения поврежденного элемента. С целью снизить влияние отказа и время, на которое произойдет перебой в подаче питания, время отказа требуется минимальное. Но при этом требуется время для предотвращения ложного срабатывания вследствие наличия коммутации. Время срабатывания защиты включает в себя также задержку срабатывания для определения характера повреждения. В случае короткого замыкания срабатывает сначала защита от него, но в случае отсутствия данного вида повреждения сработает защита от снижения напряжения.

К безотказности предъявляются более строгие требования, так как при несрабатываемой защите повреждения видны только после отказа соответствующих защищаемых устройств.

Действие защиты в целом сводится к трем последовательным действиям:

- контроль или установление факта отказа системы;
- решение задачи селективности или определение места отказа;
- формирование управляющего воздействия для

непосредственного отключения неисправного элемента, включение резервного элемента при необходимости, предоставление информации о срабатывании защиты.

1.7. Альтернативные источники энергии

1.7.1. Солнечные источники энергии

В наши дни перспективным направлением является использование альтернативных источников энергии. Так, все большее применение находят

солнечные батареи. Световое излучение преобразуется в электричество с помощью фотоэлектрических преобразователей. Их принцип работы основан на фотоэффекте. Данный способ получения электроэнергии является перспективным, так как является более доступным и недорогим [1].

Фотоэлектрические преобразователи работают при взаимодействии солнечного света и кристалла полупроводника. Фотоны замещают электроны – носители заряда. Вследствие неоднородности освещения и освещаемого полупроводника световой поток вызывает фотоЭДС цепи.

Наиболее часто фотоЭДС получают за счет разной структуры полупроводника. Это достигается несколькими способами:

- добавление примесей в полупроводник (образование p-n перехода);
- соединение нескольких полупроводниковых материалов, отличных друг от друга, с разной шириной запрещенной зоны;
- изменение химического состава полупроводника.

Зачастую используется способ добавления примесей с применением кремния, что объясняется следующими преимуществами:

- один из самых широко используемых и недорогих материалов;
- спектр чувствительности хорошо подходит для излучения от солнца;
- меньшая чувствительность к изменениям температуры, КПД у фотоэлектрических преобразователей из кремния значительно выше;
- снижение потерь на отражение за счет наличия на поверхности окисных пленок с большой прозрачностью.

Кроме кремния широко применяются такие вещества как арсенид галлия, фосфид индия, фосфид галлия, теллурид кадмия, сульфид кадмия.

Качество фотоэлектрических преобразователей определяется исследованием эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. КПД определяют как соотношение максимального значения

мощности на выходе к мощности падающего излучения. Максимальному значению соответствует 90%. Но с учетом потерь данная цифра снижается до 50. Потери условно делятся на группы. К первой относятся связанные с недостаточным использованием падающего потока излучения на элемент.

Основные причины потерь:

- контактная сетка на поверхностях солнечного элемента, восприимчивых к лучам;
- отражение падающего излучения;
- отсутствие поглощения излучения при прохождении через солнечный элемент;
- рекомбинации в солнечном элементе.

Вторая группа потерь связана с неполным использованием энергии излучения для образования фотоЭДС. Причина данного вида потерь – разница высоты энергетического барьера и запрещенной зоны. Чаще всего ЭДС в 2 раза меньше высоты запрещенной зоны.

Приведенные виды потерь можно снизить, например, применением стеклянного прозрачного покрытия. Данный способ позволяет ослабить протонную и электронную составляющую радиационных поясов. Также происходит поглощение частиц, благодаря чему гораздо меньшее их количество оказывается в солнечном элементе. В результате радиационные повреждения уменьшаются, делая фотоэлектрические преобразователи более стойкими к излучению.

Просветляющие покрытия также снижают потери путем увеличения количества света, которое проходит внутрь полупроводника, тем самым избыточное тепло, которое появляется в солнечном элементе при его работе, отводится.

Но, несмотря на перспективность применения солнечных батарей, данные устройства имеют некоторые недостатки, а именно – невозможность применения в дождливую погоду. Соответственно, данное оборудование

применяется не во всех областях страны, а особенно сложно использование в районах с дождливым климатом.

1.7.2. Химические источники энергии

Еще одним из перспективных направлений развития авиационных систем электроснабжения является использование химических источников энергии. Принцип работы заключается в преобразовании химической энергии веществ в электрическую. Источники делят на первичные, вторичные и топливные компоненты [1].

К первичным источникам относятся установки однократного действия. Принцип работы заключается в производстве одного непрерывного либо прерывистого разряда. Вещества, являющиеся продуктами электрохимических реакций, не возвращаются к первоначальному состоянию. Основная часть химического источника – гальванический элемент. При последовательном соединении нескольких таких устройств получается аккумуляторная батарея из гальванических элементов. Также первичные источники тока подразделяются на активные (прямой контакт с электролитом) и активируемые (резервные, которые могут не работать довольно долгое время, требуют дополнительные действия для приведения источников в рабочее состояние).

Ко вторичным источникам следует отнести установки многократного действия. Принцип работы этих устройств, в отличие от предыдущих, заключается в применении установок, работающих на обратимых электрохимических процессах. Основная часть в данной установке – аккумулятор. При последовательном соединении нескольких таких устройств получается аккумуляторная батарея из гальванических элементов.

К топливным компонентам относят химические источники, работа которых основана на образовании электрической энергии из химических реакций активных веществ, которые поставляются к электродам. Электроды в данном случае не применяются для образования токового заряда и выполняют роль катализаторов (химических веществ, которые ускоряют

реакцию, но не расходуются в ней). Как и предыдущие источники, топливные компоненты при последовательном соединении формируют батарею из топливных элементов. Топливные элементы бывают следующих видов [1]:

- содержащие твердое, жидкое либо газообразное горючее (чаще всего водород, алюминий углерод);
- содержащие газообразный либо жидкий окислитель (кислород, азотная кислота);
- кислый либо щелочный, жидкий либо твердый электролит, или без электролита;
- низкотемпературные (100°C и ниже), среднетемпературные (100 – 250°C), высокотемпературные (300 – 1000°C).

Во всех вышеперечисленных источниках образуется электрический заряд в результате химических реакций. При этом для нормального проведения реакций следует обеспечить условия:

- отсутствие соединения реагентов с различными значениями электрических потенциалов;
- жидкий либо твердый электролит между электродами, обладающий электронной проводимостью;
- внешняя электрическая цепь, которая соединяет электроды по нагрузке.

При выборе состава химического источника следует учитывать требование к обеспечению лучших энергетических показателей. Также конструкция зависит от области применения установки. При этом предъявляются необходимые требования к данному виду источников:

- отсутствие соединения электродов, так как в противном случае это может приводить к короткому замыканию;
- активная развитая поверхность электродов, которая ускоряет химические реакции и взаимодействие электронов;

- устойчивая работа электродов;
- снижение влияния негативных факторов, таких как токовая утечка;
- достаточная механическая прочность;
- надежность при применении.

Обязательные составные части химических источников – электроды, сепаратор, электролит, сам корпус устройства. Рассмотрим подробнее каждую составную часть.

Электрод имеет активную массу, то есть смесь химических веществ для токообразующих реакций и каркаса. Каркас фиксирует активную массу – изначально данный материал – порошок или паста. Положительный электрод – анод, отрицательный – катод. Для активной массы соответствующие активные вещества – реагенты (активно принимают участие в токообразующих химических реакциях). Также имеются добавки, которые увеличивают проводимость, уменьшают старение активной массы, улучшают механическую прочность электрода.

Роль электролита заключается в обеспечении электродных реакциях, в которых участвуют ионы и молекулы, а также образуют электрическую цепь электродов.

Сепараторы выполняют роль некоторой защиты, которая не допускает короткое замыкание положительных и отрицательных электродов между собой. Чаще выполняются из материалов, не проводящих электрический ток, внутренняя электрическая цепь образуется благодаря ионной проводимости электролита, который заполняет промежутки в сепараторе.

1.8. Перспективы развития систем электроснабжения в авиации

Наиболее предпочтительным в настоящее время является применение и улучшение систем трехфазного переменного тока. Источники энергии – бесконтактные синхронные двигатели, а также альтернативные источники энергии [1].

При развитии систем электроснабжения летательных аппаратов растет необходимость в:

- уменьшении всей массы системы электроснабжения примерно в четыре раза;
- уменьшении массы электронных приборов с функциями контроля и управления почти на половину;
- повышение качества электрической энергии;
- рост общего КПД системы на 15%;
- бесперебойность питания;
- увеличение уровня безопасности людей на борту.

Вследствие необходимости поддержания стабильного значения напряжения летательных аппаратов применяются в настоящее время регуляторы напряжения.

1.9. Регуляторы напряжения

1.9.1. Импульсный регулятор напряжения

Данный регулятор является простым аналогом тиристорного и имеет дискретный способ регулирования. Его принцип заключается во введении в цепь обмотки возбуждения ключа K . Схема представлена на рисунке 1.

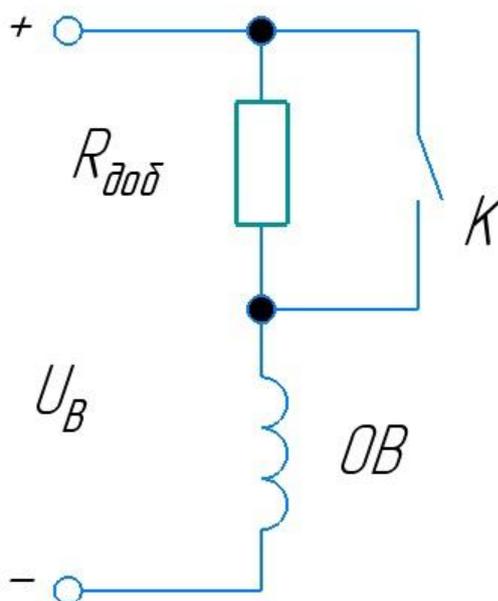


Рисунок 1 – Регулятор дискретного типа

Когда ключ замкнут, в обмотке возбуждения протекает максимальный ток. Соответственно, при разомкнутом ключе ток будет минимальным.

У импульсного регулятора осуществляется квантование по времени. Принцип данного квантования – изменением соотношения времени закрытого и открытого ключа меняется ток в обмотке возбуждения генератора. На среднее значение тока влияет коэффициент заполнения – величина, равная отношению времени, в течение которого транзистор закрыт и полного периода, который складывается из времени закрытого и открытого ключа.

Регулятор дискретного типа имеет основное преимущество – небольшие пульсации на выходе, что немаловажно как для бортовых генераторов, так и для любого электрооборудования. Но, несмотря на данное достоинство, недостаток этой схемы – пилообразная форма напряжения на выходе генератора. Вследствие этого оно нестабильно, что негативно отражается на работе бортового оборудования.

Основным достоинством использования регулятора с ключом – практически нет выделения тепла, за счет чего не происходит потери энергии.

Преимущество усилителя – возможность управления мощным источником при слабом воздействии, за счет чего не требуется дорогостоящего оборудования. В данном случае в роли электромеханического усилителя выступает генератор, который усиливает сигнал с обмотки возбуждения.

Регуляторы непрерывного типа имеют недостаток – потери за счет отвода тепла, так как происходит нагрев за счет протекания тока. Поэтому в данной работе отдается предпочтение регулятору дискретного типа, а именно – импульсному.

1.9.2. Принцип работы схемы

На рисунке 2 представлена разрабатываемая схема импульсного регулятора напряжения.

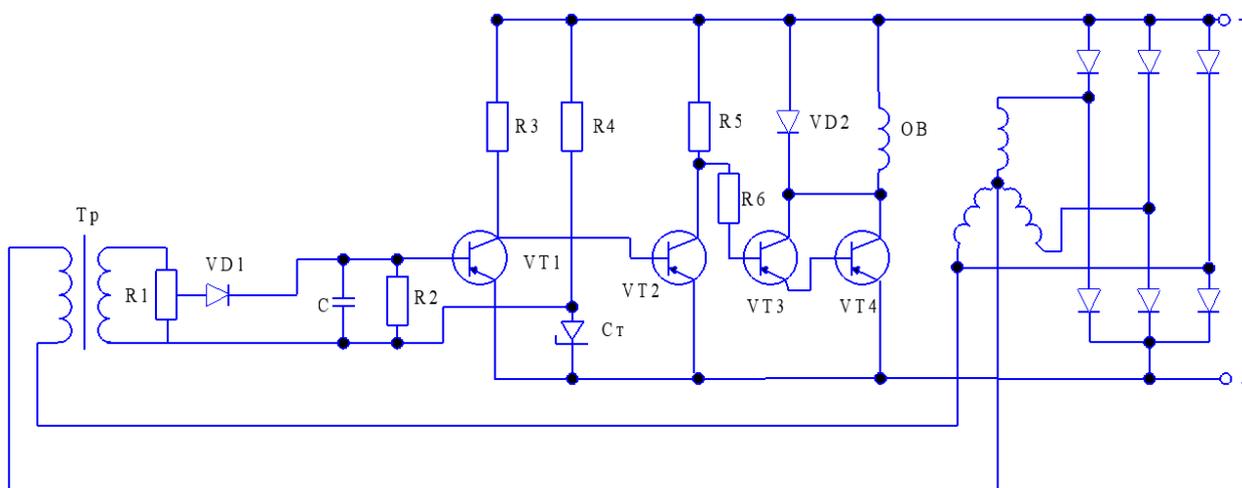


Рисунок 2 – Разрабатываемая схема импульсного регулятора напряжения

Работа схемы основана на силовом ключе из транзисторов $VT3$ и $VT4$, представляющих собой составной транзистор Дарлингтона, введенный в цепь обмотки возбуждения генератора. Силовой ключ обрабатывает сигналы со схемы сравнения, которая выполнена на транзисторах $VT1$ и $VT2$, которые работают в противофазе, стабилитроне CT и конденсаторе C . Ключевое достоинство составного транзистора – двойной коэффициент усиления.

В обмотке возбуждения генератора создается магнитный поток, наводится ЭДС. Далее напряжение выпрямляется группой диодов, включенных по трехфазной мостовой схеме. Данная схема имеет незначительные пульсации, что является ее основным достоинством. Через диод обратного тока $VD2$ ток обмотки возбуждения $I_{об}$ замыкается под действием ЭДС самоиндукции при закрытом транзисторе $VT1$.

Выпрямленное напряжение поступает на трансформатор Tr , который является измерительным органом напряжения. Во вторичной обмотке понижается напряжение. Резистор R_1 выполняет роль потенциометра, выведенного на блок управления – позволяет стабилизировать значение напряжения трансформатора. Далее диод $VD1$

срезает отрицательную полуволну полученной синусоиды напряжения. Напряжение поступает на конденсатор C , который заряжается, а затем разряжается на нагрузочный резистор R_2 .

Схема сравнения в данном случае представляет собой входную цепь транзистора $VT1$. В ней сравнивается напряжение, полученное с трансформатора и, которое стремится закрыть $VT1$, и стабилитрона St , которое стремится открыть транзистор. Когда разряжается конденсатор C , открываются транзисторы $VT1$ и составной транзистор Дарлингтона $VT3$ – $VT4$. $VT2$ при этом остается закрытым, так как $VT1$ является для него закороткой. Далее процесс повторяется.

К выпрямителям, применяемым в авиации, предъявляются следующие требования [1]:

- высокая стабильность выпрямленного напряжения (до 5%);
- стойкость к кратковременной нагрузке по току (150% номинального значения в течение 5 минут и 200% в течение 5 секунд);
- высокие значения КПД и коэффициента мощности $\cos \varphi$ (80...90%);
- частота пульсаций напряжения после выпрямителей требуется от 500 Гц и выше;
- величина пульсаций напряжения после выпрямителей не более 7%.

На рисунке 3 представлена диаграмма, поясняющая принцип работы схемы.

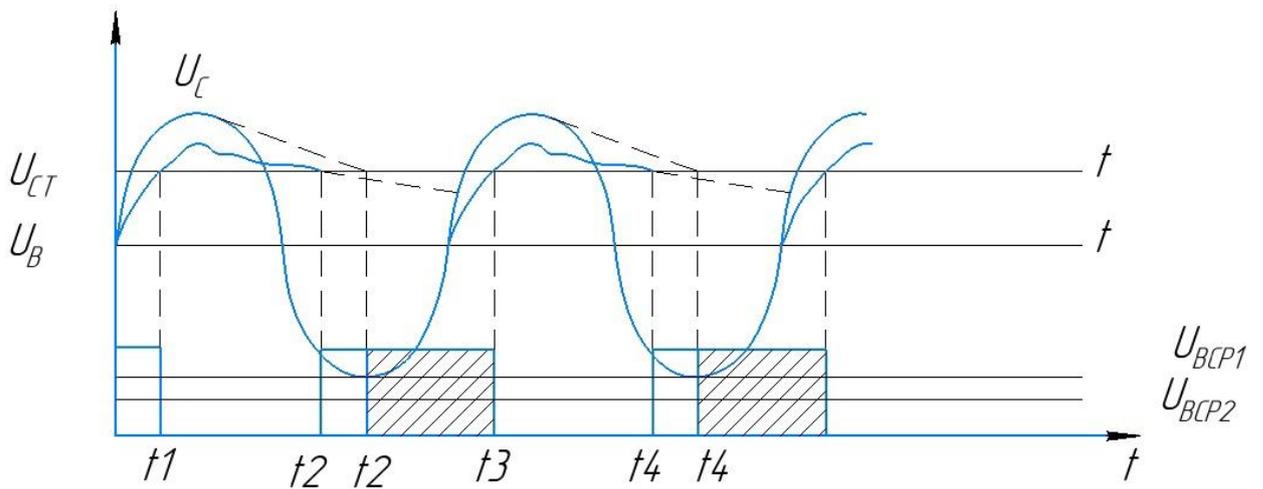


Рисунок 3 – Диаграмма, поясняющая принцип работы схемы

1.10. Квантование по времени

На рисунке 4 представлена диаграмма при квантовании функции по времени.

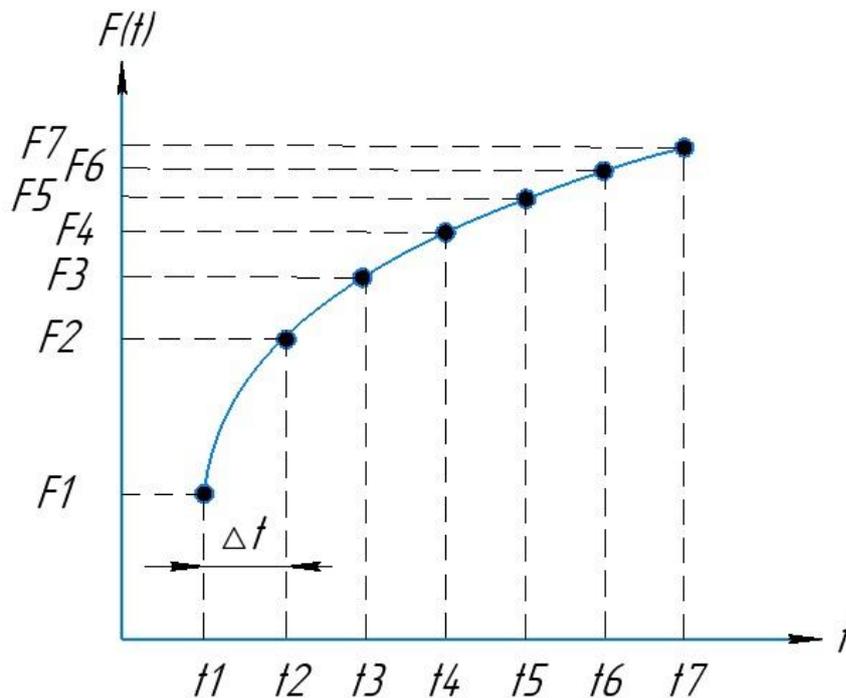


Рисунок 4 – Квантование по времени

Как видно из графика, данный способ дискретизации заключается в задании определенного промежутка времени и его откладывания по горизонтальной оси, а затем получения значения выходной функции в каждой точке. При этом, несмотря на одинаковые промежутки времени,

значение функции изменяется неравномерно. Квантование по времени позволяет получить высокую точность позиционирования, которая зависит от количества и длительности промежутков.

Но, несмотря на данное преимущество, у этого способа есть недостаток – довольно большое время получения требуемого значения функции. Чем больше временных промежутков и меньше их длительность, тем более точное выходное результирующее значение функции [14].

Данный способ подходит при требовании высокой точности, а также в случае неважности быстродействия получения значения функции.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время коммерческая ценность разрабатываемого проекта имеет высокое значение. Одна из главных причин данного явления – проблематичность оценки перспективности и инновационности проектов на первых этапах жизненного цикла, в том числе и очень крупных масштабных проектов.

Коммерческая ценность и ее правильный расчет стоит на первом месте при поиске источников финансирования вне зависимости от его вида (государственное, венчурное, использование банковских кредитов). Также эта информация важна для разработчиков и проектировщиков, которые представляют состояние и перспективы реализуемого проекта.

Следовательно, основной целью раздела является проверка конкурентоспособности разрабатываемого устройства, подсчет затрат на проектировку и разработку.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1. SWOT-анализ импульсного регулятора напряжения бортового генератора

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [32].

Применительно к рассматриваемому регулятору напряжения SWOT-анализ позволяет оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. Матрица SWOT приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая энергоэффективность системы 2. Бесконтактность генератора 3. Высокое качество электроэнергии 4. Длительный срок службы 5. Относительно невысокая стоимость проекта 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование при разработке только отечественных устройств 2. Трудности с ремонтом и заменой устройства при выявлении неисправностей
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Безопасность использования на борту летательного аппарата 2. Улучшение надежности работы бортовых систем электроснабжения 	<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ошибка в разработке регулятора напряжения может привести к неисправности системы электроснабжения летательного аппарата 2. Введение дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивной матрицы возможностей (сильные стороны) представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей (сильные стороны)

Возможности	Сильные стороны				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+

Анализ интерактивной матрицы возможностей (слабые стороны) представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей (слабые стороны)

Возможности	Слабые стороны	
	Сл1	Сл2
B1	-	-
B2	-	-

Анализ интерактивной матрицы угроз (сильные стороны) представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз (сильные стороны)

Угрозы	Сильные стороны				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	-	-	-	-	-
У2	-	-	-	-	-

Анализ интерактивной матрицы угроз (слабые стороны) представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз (слабые стороны)

Угрозы	Слабые стороны	
	Сл1	Сл2
У1	-	+
У2	+	-

Таким образом, сильные стороны проекта – безопасность использования на борту летательного аппарата, улучшение надежности работы бортовых систем электроснабжения, а слабые стороны – неисправности системы электроснабжения в результате ошибок разработки регулятора напряжения и дополнительные требования к стандартизации и сертификации продукции.

4.2. Разработка графика проведения работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке [32]:

- Определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;
- Построение графика проведения работ.

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, состоящая из научного руководителя и студента. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 8:

1 – составление и утверждение технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

3 – составление функциональной и структурной схем исследуемой системы – разработка наглядного представления технического проекта. Проработка составных частей, блоков. Алгоритмы их взаимодействия между собой;

4 – расчет параметров элементов схемы – определение значений ключевых параметров, которыми должен обладать каждый элемент системы;

5 – выбор оборудования – подбор необходимых технических средств: полупроводниковые приборы, обмотки возбуждения и трансформатора. Выбор производится на основании расчета;

6 – моделирование режимов работы в программном комплексе LTSpice – производится с целью проверки правильности расчетов и для возможной корректировки параметров элементной базы;

7 – составление спецификации;

8 – составление пояснительной записки;

9 – проверка проекта – включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов студентом;

10 – сдача проекта – в рамках учебно-практической работы, включает в себя получение рецензии работы и подготовку к защите проекта, консультации по разделам работы.

Таблица 8 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Поиск и изучение аналогов	2	Изучение литературы	Студент
Расчет и выбор оборудования, составление функциональной и структурной схемы, ознакомление руководителя с выполненными работами, возможные корректировки и исправления	3	Составление функциональной и структурной схем исследуемой системы	Студент, научный руководитель
	4	Расчет параметров элементов схемы	
	5	Выбор оборудования	
	6	Моделирование режимов работы в программном комплексе LTSpice	
	7	Составление заказной спецификации	
	8	Составление пояснительной записки	
Оформление отчета по техническому проектированию	9	Проверка проекта	Научный руководитель, студент
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Сдача проекта	Студент

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта [32].

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \text{ где } t_{ожи} - \text{ожидаемая трудоемкость выполнения } i\text{-ой}$$

работы чел.-дн., t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн., t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Оценка продолжительности работ приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Оценка продолжительности работ, раб. дн.

№	Название работы	Трудоемкость работ					
		t_{min}		t_{max}		$t_{ожи}$	
		Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент
1	Составление ТЗ	1	-	1	-	1	-
2	Изучение литературы	-	10	-	15	-	12
3	Составление принципиальной схемы устройства	3	14	3	20	3	16
4	Расчет параметров элементов схемы	2	15	2	21	2	17
5	Выбор оборудования	3	3	3	3	3	3
6	Моделирование режимов работы	2	18	2	20	2	19
7	Составление пояснительной записки	-	15	-	20	-	18

Окончание таблицы 9.

8	Проверка проекта	1	-	3	-	2	-
9	Сдача проекта	-	8	-	10	-	9

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 9 строим план – график проведения работ. Диаграмма Ганта приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работы	Исполнители	T _{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работы													
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Научный руководитель	1	■													
2	Изучение литературы	Студент	12	■	■												
3	Составление принципиальной схемы устройства	Научный руководитель	3		■	■	■										
		Студент	16		■	■	■										
4	Расчет параметров элементов схемы	Научный руководитель	2							■							
		Студент	17				■	■	■								
5	Выбор оборудования	Научный руководитель	3							■							
		Студент	3							■							
6	Моделирование режимов работы	Научный руководитель	2														■
		Студент	19								■	■	■				

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Определение стоимости материальных затрат производится по действующим ценам. Расчет затрат по данной статье приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты силовой части [33, 34]

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Транзистор 2SAR533P	Шт.	1	93	93
Транзистор 2SA1576A	Шт.	1	22	22
Резистор 3,9 кОм	Шт.	1	5	5
Диод SS24	Шт.	1	5	5
Транзистор 2N3906	Шт.	1	27	27
Резистор 10 кОм	Шт.	1	8	8
Резистор 100 Ом	Шт.	1	8	8
Транзистор 2N3906	Шт.	1	27	27

Окончание таблицы 11.

Стабилитрон KDZ6	Шт.	1	10	10
Резистор 3,3 кОм	Шт.	1	8	8
Резистор 4,3 кОм	Шт.	1	5	5
Трансформатор измерительный	Шт.	1	2700	2700
Диод RB751SM	Шт.	1	6	6
Резистор 240 Ом	Шт.	1	5	5
Диод MBRS1100	Шт.	6	12	72
Конденсатор 0,1 мкФ	Шт.	1	120	120
Синхронный генератор	Шт.	1	19800	19800
Итого				22921

Материальные затраты с учетом транспортных расходов [32]: $22921 \cdot 1,15 = 30300$ руб.

4.3.2. Полная заработная плата исполнителей

В данный раздел включается основная и дополнительная заработная плата (ЗП) всех исполнителей, принимающих участие в проекте. Величина расходов по ЗП определяется исходя от трудоемкости выполняемых работ и действующей системе окладов и тарифов [32].

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается по формуле:

$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} T_p$, где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб., T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{окл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_d}$, где F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

В таблице 12 приведены результаты расчета основной заработной платы.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная зарплата, руб.	Кол-во дней	Основная зарплата, руб.
Научный руководитель	39300	11790	51090	1965	13	25545
Студент	16300	4890	21190	815	94	76610

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент доплаты	Основная зарплата, руб.	Полная зарплата, руб.
Научный руководитель	0,15	25545	29376,8
Студент	0,12	76610	85803,2
Итого			115180

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной главе отражаются обязательные отчисления в установленные законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [32].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб.исп1}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 29376,8 = 8813,1 \text{ руб.}, \text{ где } k_{\text{внеб}}$$

– коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$Z_{\text{внеб.исп2}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 85803,2 = 25740,9 \text{ руб.}, \text{ где}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 115180 = 34554 \text{ руб.}, \text{ где } k_{\text{внеб}}$$

– коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

4.3.4. Накладные расходы

Данный вид статьи расходов учитывает прочие финансовые затраты организации. К ним могут относиться: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д.

Затраты на проект складываются из стоимости спецоборудования с учетом транспортных расходов, заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды.

Таким образом, сумма затрат на проект: $30300 + 115180 + 34554 = 180034$ руб.

Накладные расходы: $Z_{\text{накл}} = (\text{затраты на проект}) \cdot k_{\text{нр}} = 180034 \cdot 0,16 = 28805,4$ руб., где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

4.4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [32].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Определение бюджета затрат на проект

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
1. Материальные затраты	22921	22921	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	25545	76610	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3831,8	9193,2	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	8813,1	25740,9	

Окончание таблицы 14.

5.	Затраты на научные и производственные командировки	-	-	
6.	Контрагентские расходы	-	-	
7.	Накладные расходы	28805,4	28805,4	16% от общей суммы затрат
8.	Бюджет затрат НТИ	89916,3	163270,5	

4.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$I_{pi} = \sum a_i b_i$, где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности, a_i – весовой коэффициент разработки, b_i – оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исполнение 1	Исполнение 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Энергосбережение	0,2	4	5
5. Надежность	0,25	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4
Итого	1		

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 =$$

4,5,

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,6.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{4,5}{0,36} = 12,5,$$

где $I_{финр}^{исп.1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{89916,3}{253186,8} = 0,36$ – интегральный финансовый показатель разработки исполнения 1, Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{4,6}{0,64} = 7,2,$$

где $I_{финр}^{исп.2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{163270,5}{253186,8} = 0,64$ – интегральный финансовый показатель разработки исполнения 2, Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения, Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} = \frac{12,5}{7,2} = 1,72, \quad \mathcal{E}_{ср2} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{7,2}{12,5} = 0,58.$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,36	0,64
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	12,5	7,2

Окончание таблицы 16.

4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,58
---	--	---	------

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение – 4,5 в исполнении 1 и 4,6 в исполнении 2, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

Показатель эффективности в исполнении 1 составляет 1, а в исполнении 2 – 0,58, что говорит о большей эффективности исполнения 1.

4.6. Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В результате SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, проведена оценка надежности и возможностей проекта. Было установлено, что технический проект имеет много преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технологических процессов. При этом существуют низкие, но серьезные угрозы. Был определен график занятости для двух исполнителей: научного руководителя и дипломника. Данный график наглядно изображен с помощью диаграммы Ганта.

2. При планировании технико-конструкторских работ был разработан график занятости для исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оценить и лучше спланировать рабочее время исполнителей.

3. Был оценен первоначальный бюджет затрат на реализацию технического проекта, а также даны рекомендации по оптимизации этих затрат.

4. Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат – 4,5 в исполнении 1 и 4,6 в исполнении 2 по 5-бальной шкале, что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод об успешной реализации проекта, увеличении эффективности производства, как социальной, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающей, путем внедрения более универсального оборудования, требующего меньших затрат при эксплуатации.

Список публикаций:

1. Воронина, Н. А. Импульсный регулятор напряжения бортового генератора / Н. А. Воронина, Ю. В. Мурашко // Современные проблемы машиностроения : сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – 2022. – С. 60-62.